

Optimización de Energía en una Red Óptica y Tipos de Protección para las Redes PON.

Alex Geovanny Remache Chimbolema
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
alex.remache@epn.edu.ec

Jonathan Joaquín Guerrero Morales
Escuela Politécnica Nacional
Quito, Ecuador
jonathan.guerrero02@epn.edu.ec

Resumen. – El presente documento muestra información acerca del tema central de optimización de la energía ocupada en una red óptica. Se presenta alternativas para poder llegar a una disminución en el consumo de la energía como son las redes eléctricas inteligentes, el uso de componentes en una red PON o la implementación de una LAN óptica pasiva. Por último, se presenta las simulaciones propuestas para esquemas de protección en las redes PON.

Palabras claves– Optimización, red eléctrica inteligente, LAN óptica pasiva, modelos de optimización.

I. OBJETIVOS

1. Conocer la importancia que tiene la optimización del uso de energía en una red óptica.
2. Detallar maneras prácticas para llevar a cabo la optimización en el consumo de energía en redes ópticas.

II. INTRODUCCIÓN

El uso de energía dentro de una red óptica es un factor importante si se requiere diseñar una red escalable, de bajo costo y que garantice sostenibilidad. Los elementos usados comúnmente en una red (transceivers, switches, amplificadores) no hacen una administración de energía, por lo que se tiene un aumento significativo en el rendimiento del sistema teniendo así un impacto considerable en la eficiencia energética de las redes ópticas [1].

Para tener una idea más concreta sobre el consumo de energía se realiza modelados basados en red que consiste en detallar el consumo energético de los elementos que componen la red. Por otra parte, se realiza un modelado, pero, con la diferencia de detallar la energía de un servicio siguiendo un camino o ruta dentro de la red [2].

III. OPTIMIZACIÓN ENERGÉTICA EN RCO.

A. Energía usada en redes ópticas.

La transformación de la red eléctrica actual en una red eléctrica inteligente trae muchos beneficios sobre diseños de redes ópticas. Estas nuevas redes permiten a los usuarios a tener un mayor control en el uso de energía eléctrica y beneficios como [3]:

- Aprovechar de mejor manera las energías renovables.
- Combinar de una manera bidireccional el flujo de electricidad con el de información.
- Transportar volúmenes grandes de información en redes de comunicaciones.

El poder realizar una red de comunicaciones adaptando su funcionamiento sobre una red eléctrica inteligente presenta sistemas de gestión denominados sistemas distribuidos de gestión (Distribution Management System-DMS).

Los DMS tienen el funcionamiento de almacenar y procesar la información de los gestores presentes en la red eléctrica inteligente. La implementación de estas arquitecturas distribuidas presenta una optimización en el uso del ancho de banda dando como resultado una reducción en la transmisión de los datos de información en el centro de control de la DMS [3].

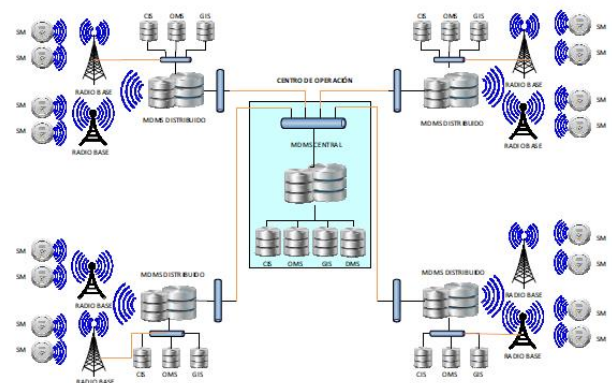


Figura 1. Red de gestión de información con despliegue de fibra óptica.

Para poder realizar un diseño de red óptica sobre una red eléctrica inteligente se necesita tener en cuenta los tipos de fibra óptica que se encuentra en los cables OPGW, los tipos de fibra más usados son tipo G.652, G.652b y G.655, el cable óptico implementado es tipo ADSS y el cable de guarda es de tipo OPWG. Sin embargo, el problema presentado en este diseño de red [3] es la de comunicar los puntos principales del sector eléctrico (subestaciones eléctricas) donde la solución más eficiente es de formación de redes de backbone usando la técnica de triangulación Delaunay-Voronoi que consiste en crear un grafo con los puntos de las subestaciones y así encontrar la mejor ruta con menor coste gracias a la utilización de del algoritmo Dijkstra [3].



Figura 2. Mapa que representa los puntos donde existen las subestaciones eléctricas.

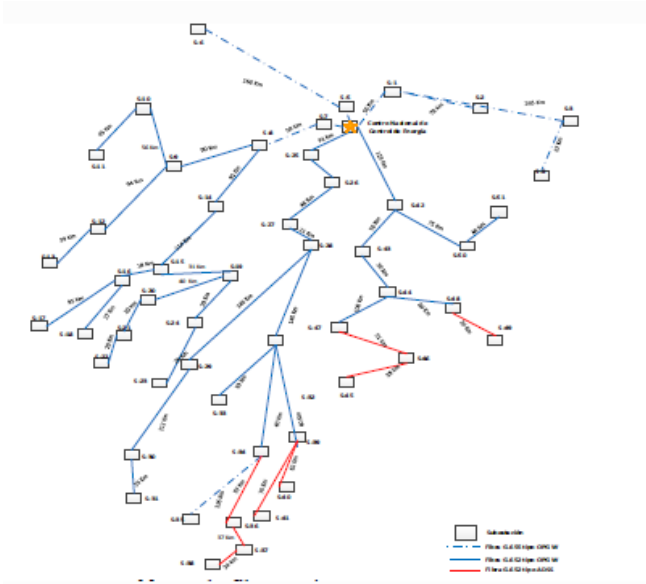


Figura 3. Implementación de las redes de backbone mediante la mejor ruta para interconectar las subestaciones eléctricas.

B. Optimización en el uso de energía.

Para la optimización del consumo de energía en una red óptica se puede desarrollar modelados donde se refleja el consumo de cada elemento que conforma la red, de esta manera poder ver, analizar y cuantizar que elementos son los que tienen un mayor peso en el uso de energía [2].

1) Modelados basado en la red

Este esquema es realizado teniendo el aporte de cada elemento de la red óptica total. Se toma el consumo de energía de toda la red, incluyendo todas las rutas disponibles, dando así, un conocimiento más amplio del uso de energía que se está empleando en la red óptica.

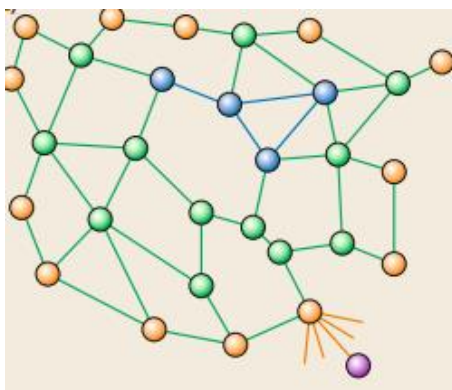


Figura 4. Modelado basado en la red.

En lo que respecta al análisis matemático, se debe considerar la suma de todos los componentes, nodos y enlaces.

$$P_{RED} = P_{componentes} + P_{nodos} + P_{enlaces} \quad (1)$$

Con respecto a la energía de bit, se debe considerar que la red puede estar segmentada en dominios, por lo que su expresión matemática es la potencia de la red dividida para los dominios del tráfico de la red.

$$\varepsilon_{RED} = \frac{P_{RED}}{D_{RED}} \quad (2)$$

$$\varepsilon_{dominios} = \varepsilon_{core} + \varepsilon_{acceso} + \varepsilon_{distribución} \quad (3)$$

2) Modelado basado en la ruta

A diferencia del primer modelado, en este esquema se tiene desglosado el consumo de energía de los elementos pertenecientes a una ruta específica dentro de la red. El análisis del consumo de energía es específico solo para una ruta determinada.

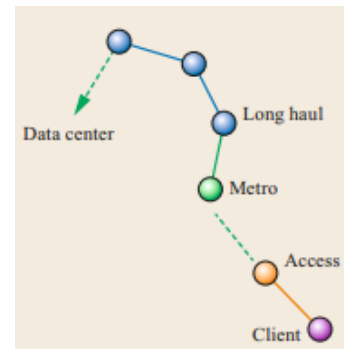


Figura 5. Modelado basado en la ruta.

Con la formulación matemática, en este tipo de modelado se va sumando la energía por cada nodo dentro de la ruta determinada de la red.

$$P_{RED} = P_{long\ haul} + P_{metro} + P_{access} \quad (4)$$

La energía de bit se obtiene de manera similar que el modelado anterior, pero, especificando de igual manera cada nodo de la ruta.

$$\varepsilon_{nodos} = \varepsilon_{long\ haul} + \varepsilon_{metro} + \varepsilon_{acceso} \quad (5)$$

Los modelados descritos anteriormente permiten tener una administración de la energía de la red lo cual da la posibilidad de conocer y aplicar una gestión óptima dentro de la red.

C. Elementos de optimización de energía.

1) Divisores ópticos sin alimentación

Se puede ver en redes PON que algunas herramientas no realizan uso de energía, por ejemplo, los divisores ópticos sin alimentación que son componentes de menor consumo en comparación con repetidores ópticos. Este divisor PON puede conectar hasta 32 instalaciones en una red y consiste en un OLT en la oficina central del proveedor y diferentes ONUs conectadas a los usuarios finales [4].



Figura 6. Divisor óptico sin alimentación.

2) LAN óptica pasiva

Uso de una arquitectura punto a multipunto que hace la utilización de varios divisores ópticos para poder dividir la señal de una fibra óptica monomodo. Esta señal divide se origina en una OLT y se conectan a las ONT donde convierten la señal óptica en múltiples señales balanceadas para la transmisión. Los beneficios de utilizar LAN ópticas pasivas es la eliminación de salas de telecomunicaciones y la infraestructura de energía, además, mejora en el tema de seguridad y eliminación de diafonía del cable de cobre [5].

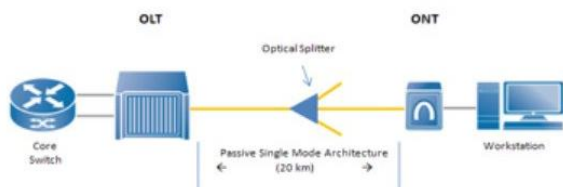


Figura 7. LAN óptica pasiva.

IV. REDES DE PROTECCIÓN PON

A. Tipos de redes de protección.

A continuación, se presenta las consideraciones de protección de las redes PON, según las normas del estándar ITU-T Series G, suplemento 51 del mes de agosto, 2017 [6]-[7].

Existen bastantes arquitecturas de protección PON ya definidas en los estándares PON tanto por ITU-T como por IEEE, como el tipo A, B, C y D para garantizar la confiabilidad y resistencia de la red. La diferencia entre estos esquemas de protección depende de lo que se esté protegiendo: fibra de alimentación; fibras de alimentación y caída; Equipo OLT; Equipos OLT y ONU; o una mezcla y combinación entre ellos. Todos estos tienen diferentes impactos en la disponibilidad y el costo dependiendo de la probabilidad de cortes de fibra (debido al "desvanecimiento de la retroexcavadora" y la intervención no humana, como la caída de árboles por la nieve o la tormenta y ratas y monos hambrientos), MTTF del equipo, cambios de temperatura y fibra. -redes de distribución óptica (ODN) ricas o pobres en fibra.

Los tipos de protección se listan a continuación:

1) Tipo A

Esto protege solo la fibra de alimentación y su utilidad depende de la arquitectura ODN. Este tipo de protección se establece más para desastres naturales o inconvenientes imprevistos, en donde la fibra de alimentación estaría en peligro.

En estos casos, la protección de la fibra de alimentación (tipo A) es muy útil. La protección PON tipo A requiere la intervención manual del operador o un interruptor óptico controlado por voltaje para conectar físicamente la fibra de repuesto entre el divisor y el OLT y evitar el defecto en el enlace primario.

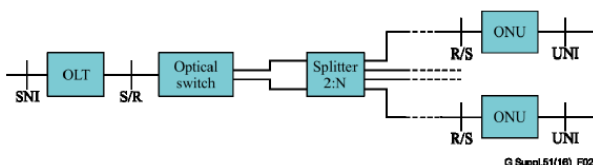


Figura 8. Tipo A

2) Tipo B

En esta configuración, se proporciona protección en las principales áreas de preocupación, que incluyen fibra de alimentación y equipo OLT con blades OLT separados para OLT de trabajo y protección. No se proporciona redundancia de equipo en las ONU o fibras de alimentación. Por lo tanto, no proporciona protección ONU o ODN completa. El OLT en espera puede residir junto con el OLT principal en funcionamiento en la misma ubicación de la oficina central, pero no es deseable cuando se protege contra fallas catastróficas.

Para solucionar este problema, una opción es el uso de PON de doble parental. En este ejemplo, cualquier abonado está conectado a dos OLT (en funcionamiento y protección) en diferentes ubicaciones geográficas mediante un divisor óptico 2×N. Durante el funcionamiento normal, las ONU se clasifican y se comunican con la OLT en funcionamiento.

En el caso de una rotura de fibra, o una falla del equipo OLT o del nodo, la OLT de protección puede asumir el control de la PON. Con la crianza dual, los OLT pueden ser incluso de diferentes fabricantes. Cabe señalar que, con la paternidad dual, el proceso de duplicación de la base de datos OLT en funcionamiento para la OLT de protección puede necesitar definirse por razones de interoperabilidad. De lo contrario, la paternidad dual puede seguir siendo un método patentado de protección PON.

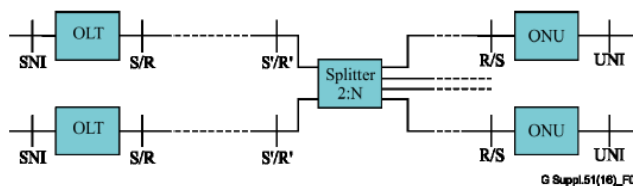


Figura 9. Tipo B

3) Tipo C

En esta configuración, se proporciona redundancia de equipos en OLT, ODN y ONU. Proporciona dos enlaces completamente redundantes hasta las instalaciones del suscriptor. Es el más costoso, pero ofrece la máxima disponibilidad. Es ideal para empresas y traslados móviles. Hay dos opciones: protección lineal 1+1 y lineal 1:1.

En la protección 1+1, la protección PON está dedicada a cada PON en funcionamiento. La señal de tráfico normal se copia y se envía a las PON de trabajo y de protección con un puente permanente entre las dos OLT. El tráfico de ambos se transmite simultáneamente a una ONU, que hace una selección entre las dos señales basándose en algunos criterios predeterminados, como la indicación de defecto del servidor.

En la protección 1: 1, la señal de tráfico normal se transporta en la PON de trabajo o en la PON de protección con conmutación automática de protección entre OLT.

El suscriptor podría tener dos ONU independientes, pero esto no es necesario. Se podría utilizar una ONU con dos interfaces ópticas.

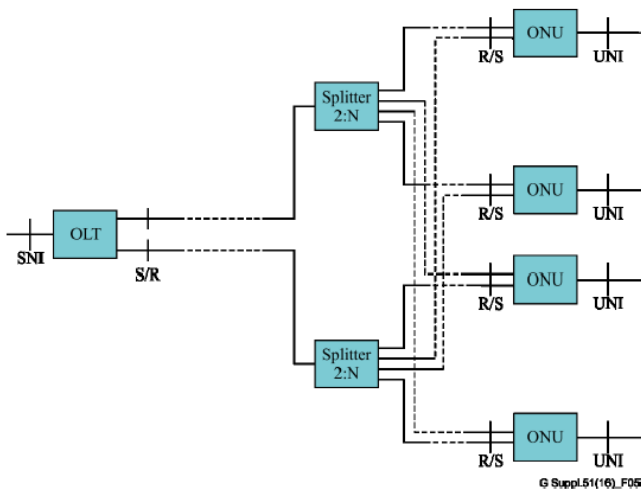


Figura 10. Tipo C

4) Tipo D

La protección de tipo D, aunque originalmente estaba en [b-ITU-T G.984.1], ha quedado obsoleta.

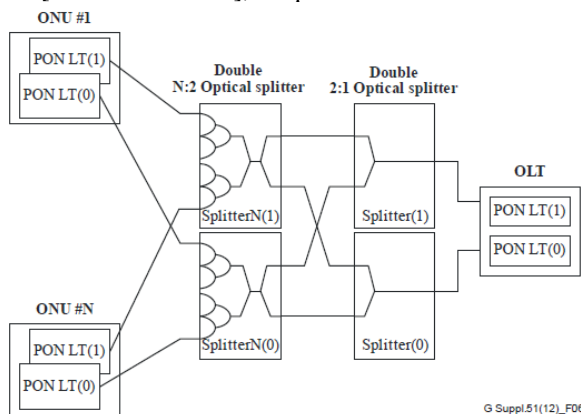


Figura 11. Tipo D (Obsoleto)

B. Simulación

Las simulaciones de protección de redes PON se ha hecho en el software OptiSystem.

Para estas simulaciones se tiene algunos elementos, indispensables que serán útiles en todas las redes y protecciones. Estas son:

- OLT

Esta OLT estará conformada por dos segmentos, que es una señal de video y otra de datos. Estos están multiplexados para tener una sola señal que será la salida del OLT.

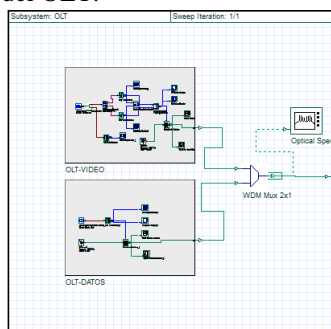


Figura 12. Subsistema OLT.

La señal de video tiene una modulación 4QAM, y la señal de datos será una señal binaria directa.

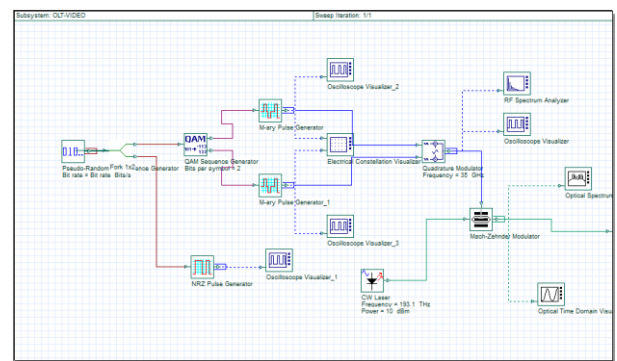


Figura 13. Subsistema OLT-Video.

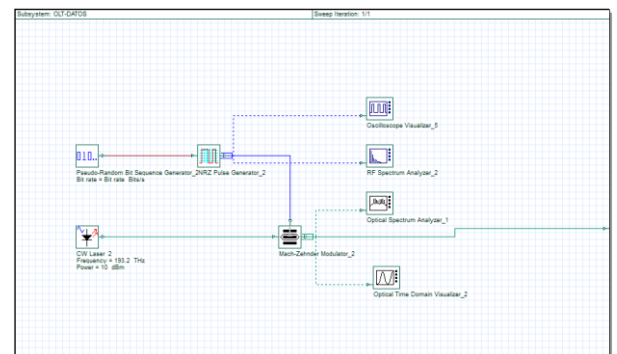


Figura 14. Subsistema OLT-Datos

- ONT

La ONT tendrá dos recepciones para las señales de video y datos, que antes serán demultiplexadas, según corresponda.

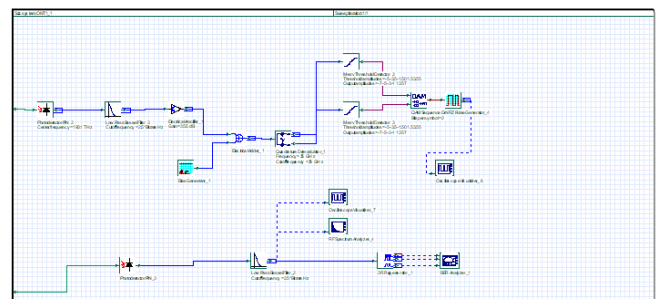


Figura 15. Subsistema ONT.

- Splitter 2x1

Para los tipos de protección se necesita un splitter 2xN, pero en el software OptiSystem no tiene esta opción, por lo que se ha realizado un subsistema, que representa a este equipo.

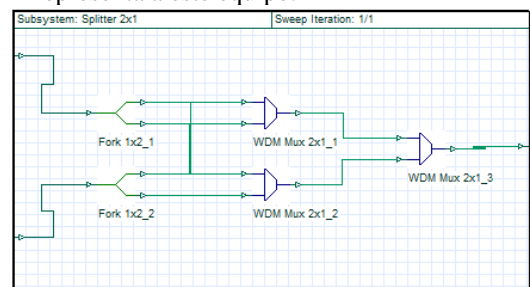


Figura 16. Subsistema Splitter 2x1.

1) Tipo A

El esquema que se ha realizado es el siguiente:

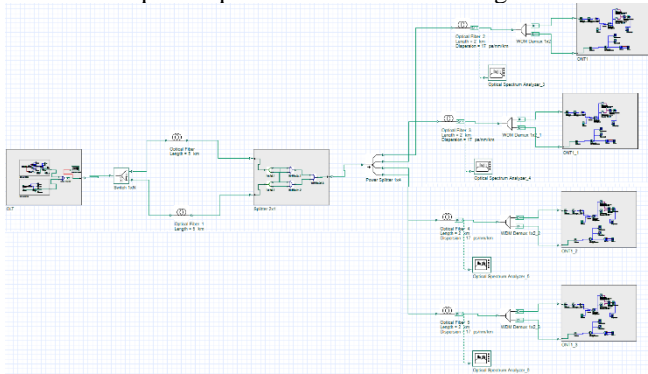


Figura 17. Esquema de protección Tipo A.

Para esta red, se simula que la fibra de alimentación está en su funcionamiento correcto. Esto significa que la información pasará de la OLT a las ONT mediante la fibra número 1. El resultado de las simulaciones son las siguientes.

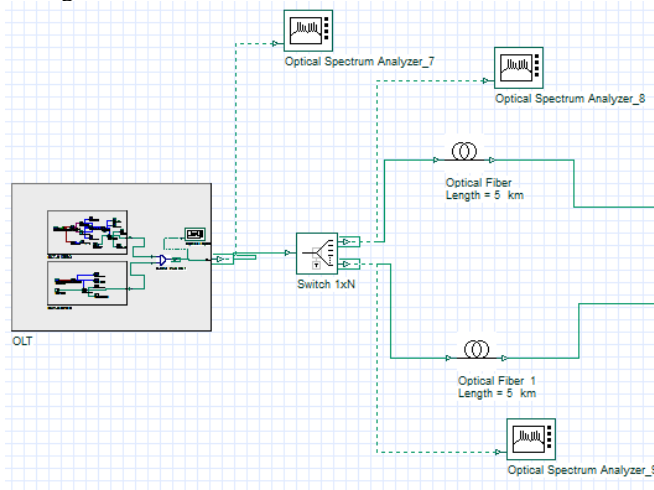


Figura 18. La transmisión se hace desde la OLT hasta un switch 1x2, que tendrán las mismas señales para la fibra óptica 1 (arriba), que es la fibra alimentadora principal, y la fibra óptica 2 (abajo) que es la fibra alimentadora secundaria, está entrará en funcionamiento si la fibra principal se corta.

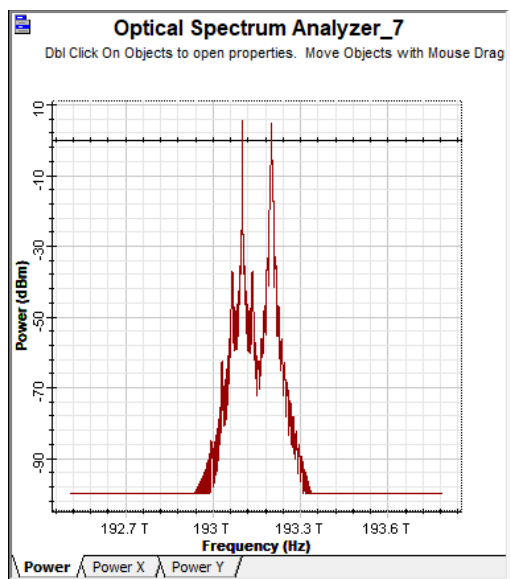


Figura 19. Espectro óptico de la salida del OLT.

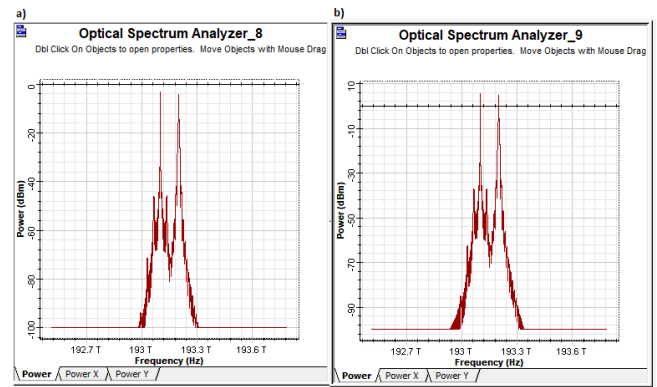


Figura 20. En el switch, la señal de la OLT pasará a las fibras alimentadoras, teniendo los siguientes espectros. a) fibra principal b) fibra secundaria.

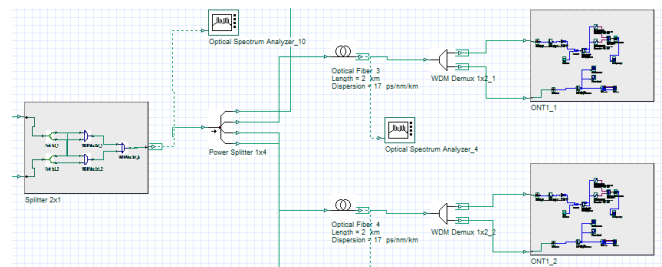


Figura 21. Las fibras entrarán a un splitter 2x1, y está a un splitter 1x4, por lo que, en esta simulación se tendrá 4 usuarios.

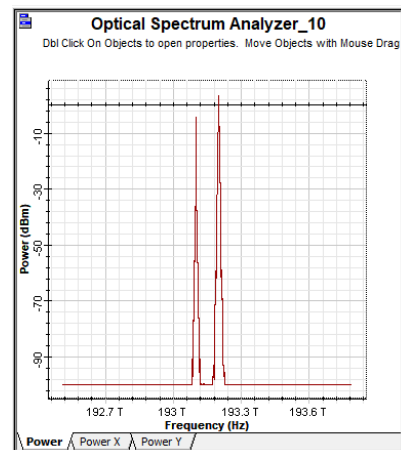


Figura 22. Señal que sale del splitter 2x1.

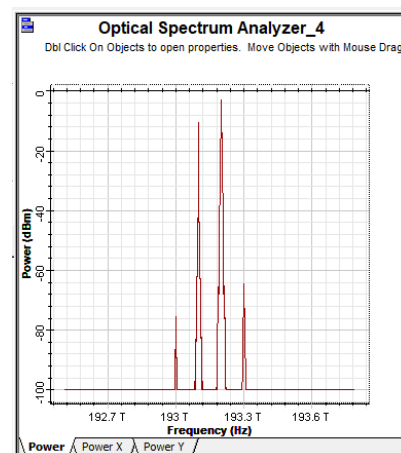


Figura 22. Señal del usuario 2.

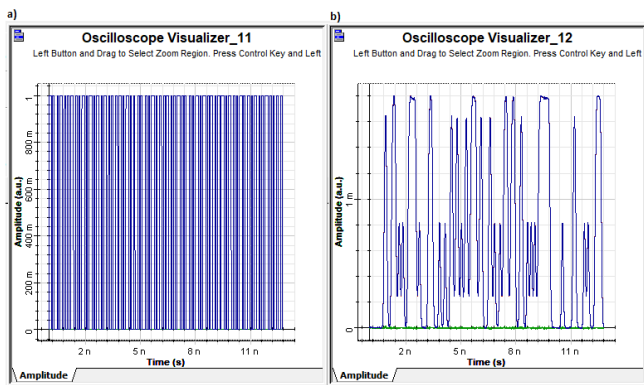


Figura 22. Señal demultiplexada del usuario 2. a) Señal de video b) Señal de datos.

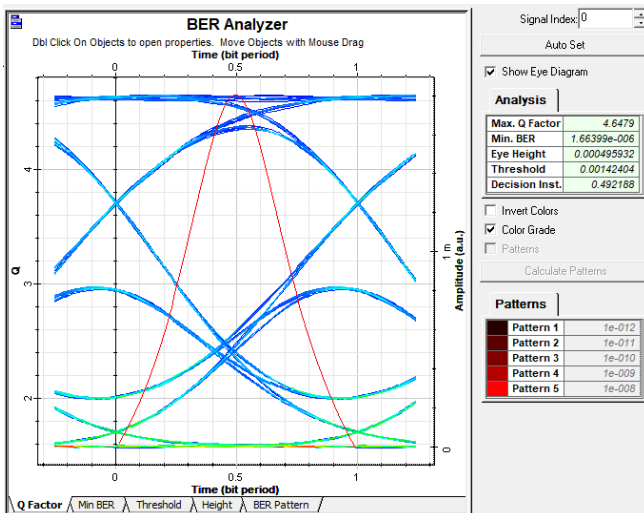


Figura 23. BER para la señal de datos, está en orden de $1.6639\text{e-}6$.

Ahora se simulará, que la fibra alimentadora primaria ha sufrido un corte. Tenemos los siguientes resultados.

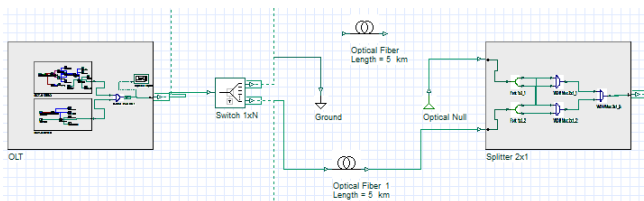


Figura 23. Se ha simulado que la fibra principal se ha cortado.

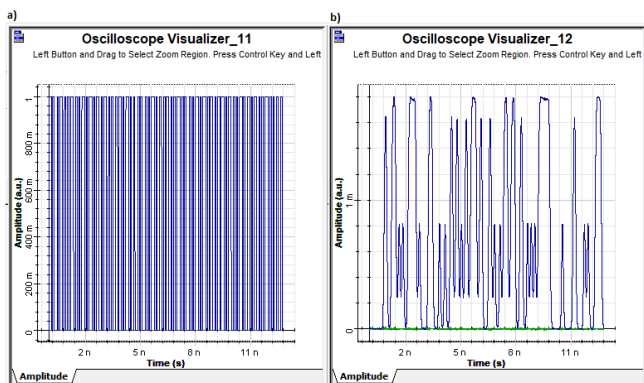


Figura 24. Señal demultiplexada del usuario 2 después del corte de la fibra principal. a) Señal de video b) Señal de datos.

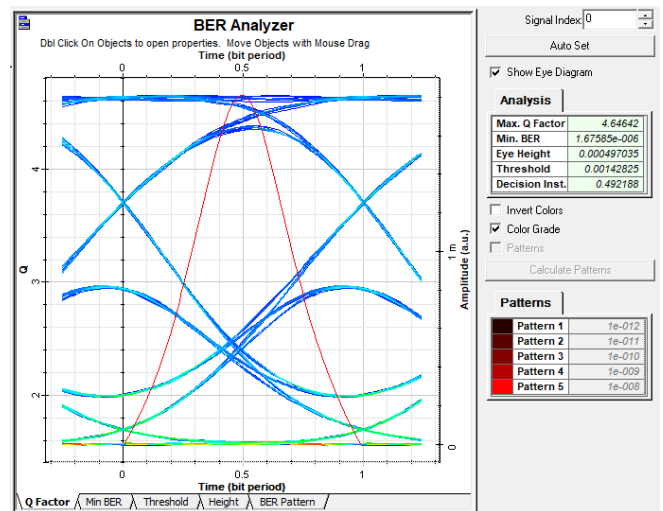


Figura 25. BER para la señal de datos, está en orden de $1.6758\text{e-}6$.

Los usuarios siguen teniendo el servicio, ya que, gracias a la protección, la fibra secundaria ha reemplazado a la fibra principal.

2) Tipo B

El esquema que se ha realizado es el siguiente:

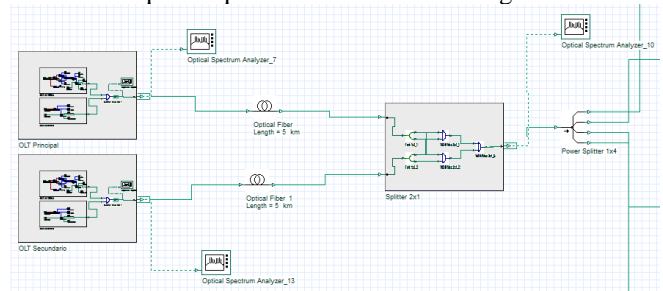


Figura 26. Esquema de protección Tipo B.

Para esta red, se simula que la fibra de alimentación está en su funcionamiento correcto. Esto significa que la información pasará de la OLT principal a las ONT. El resultado de las simulaciones son las siguientes.

Como se puede observar en la Fig. 26, la OLT principal está en funcionamiento, esta pasará la información al splitter 2x1, que, a su vez, está conectada al splitter 1x4, que dará cobertura a 4 usuarios.

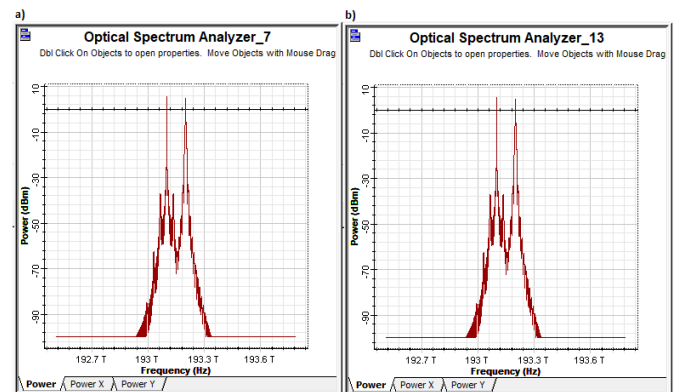


Figura 27. Señal que transmiten las OLT a) Principal b) Secundaria.

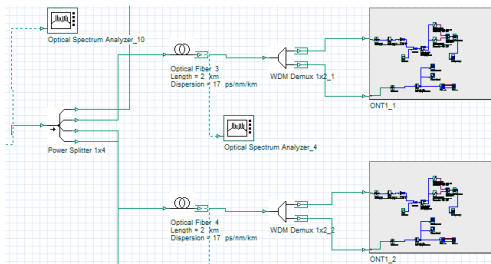


Figura 28. La salida del splitter 2x1 entrará al splitter 1x4, por lo que, en esta simulación se tendrá 4 usuarios.

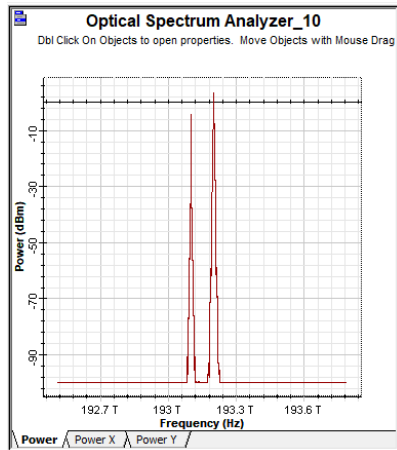


Figura 29. Señal que sale del splitter 2x1.

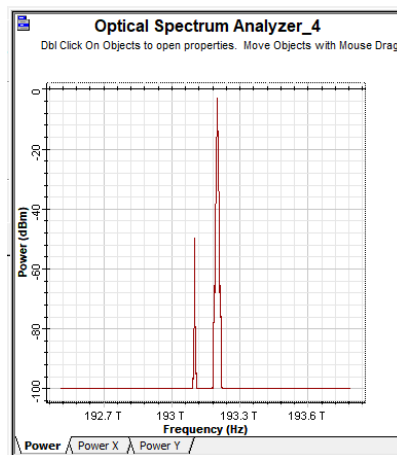


Figura 30. Señal del usuario 2.

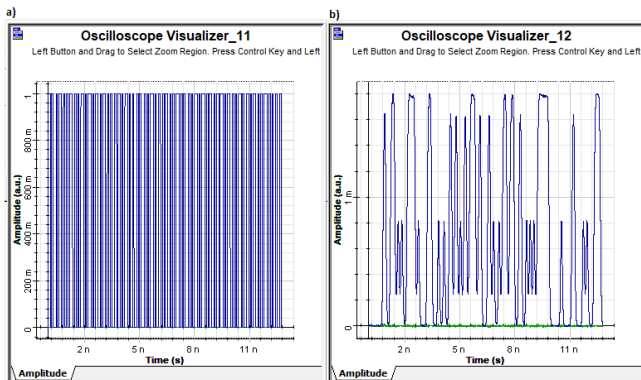


Figura 31. Señal demultiplexada del usuario 2. a) Señal de video b) Señal de datos.

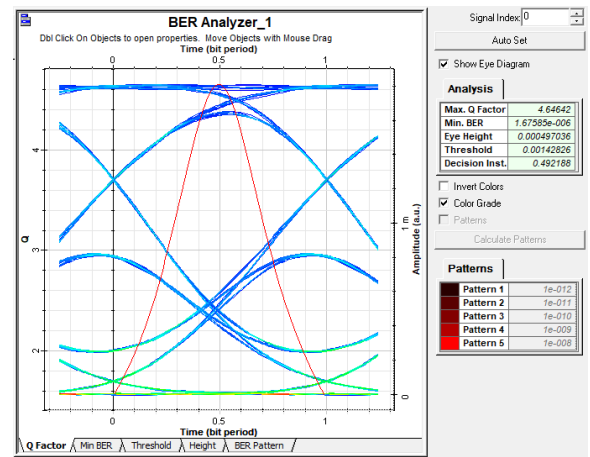


Figura 32. BER para la señal de datos, está en orden de $1.6758e-6$.

Ahora se simulará, que la OLT primaria ha sufrido una interrupción. Tenemos los siguientes resultados.

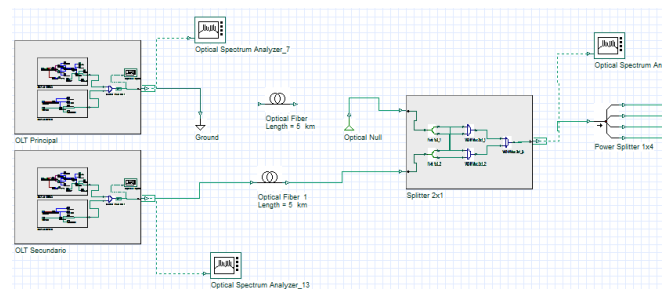


Figura 33. Se ha simulado que la OLT principal ha sufrido algún percance.

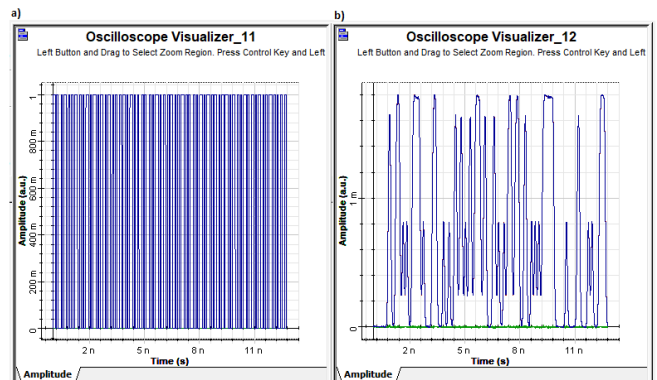


Figura 34. Señal demultiplexada del usuario 2 después de que la OLT secundaria ha tomado la función principal. a) Señal de video b) Señal de datos.

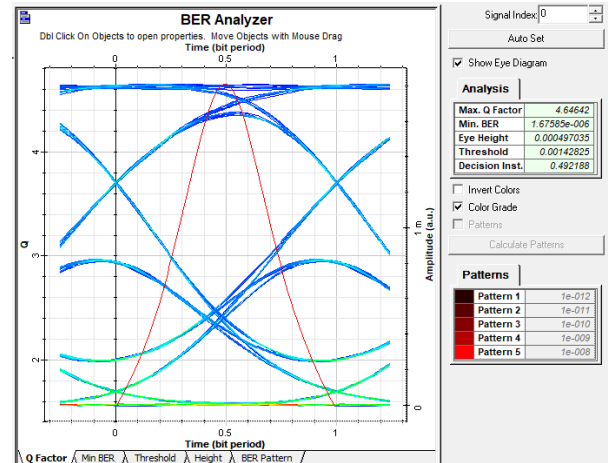


Figura 35. BER para la señal de datos, está en orden de $1.6758e-6$.

Los usuarios siguen teniendo el servicio, ya que, gracias a la protección, la OLT secundaria ha reemplazado a la OLT primaria.

3) Tipo C

El esquema que se ha realizado es el siguiente:

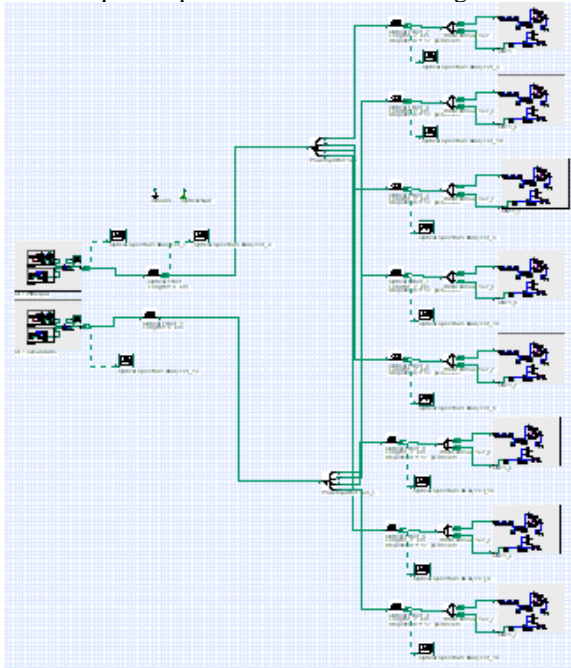


Figura 36. Esquema de protección Tipo C.

Para esta red, se simula que tanto el OLT tiene un OLT secundario, y los usuarios tendrán un ONT primario y en caso de algún problema, el apoyo será la ONT secundaria.

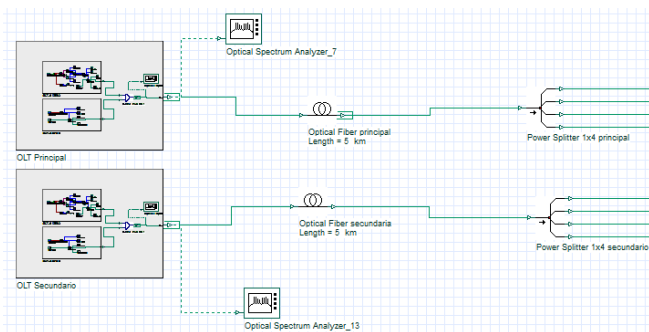


Figura 37. Para este tipo de protección se tiene una OLT principal que será la que opere con normalidad, y otra OLT secundaria que será la de soporte si la OLT dejara de funcionar.

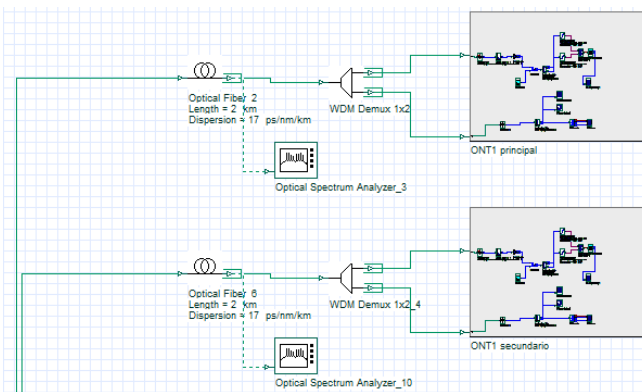


Figura 38. Cada usuario tendrá "redes independientes" una ONT principal y otra ONT secundaria para cada usuario.

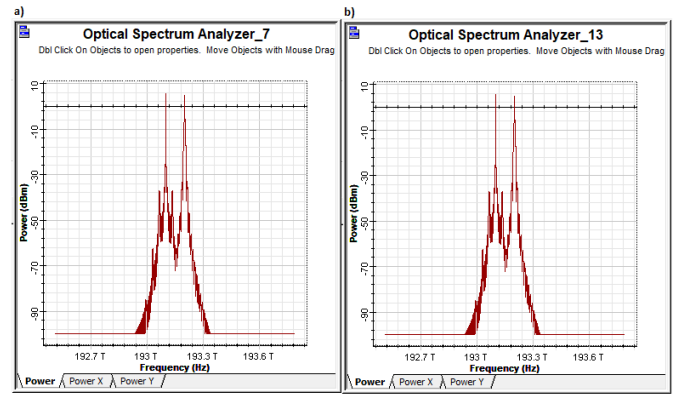


Figura 39. Señal que transmiten las OLT a) Principal b) Secundaria.

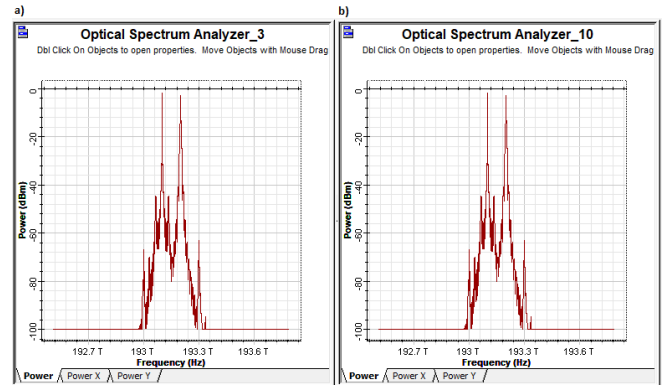


Figura 40. Señal del usuario 1. a) ONT primaria b) ONT secundaria.

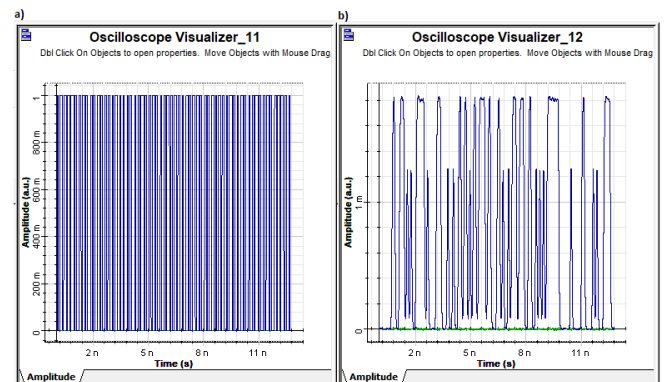


Figura 41. Señal demultiplexada del usuario 1 con la ONT primaria. a) Señal de video b) Señal de datos.

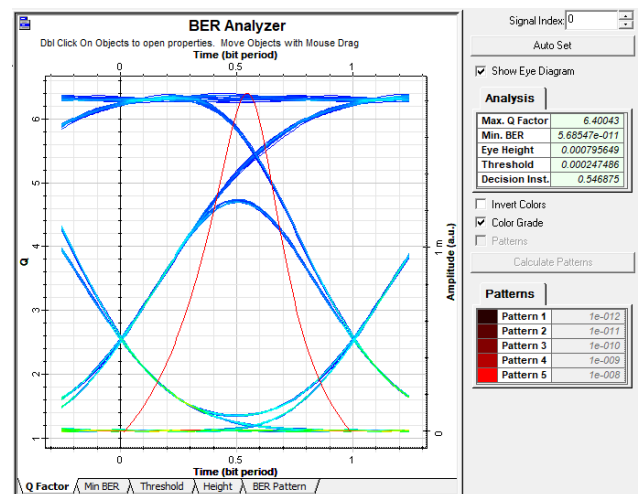


Figura 42. BER para la señal de datos de la ONT principal, está en orden de 5.6854e-11.

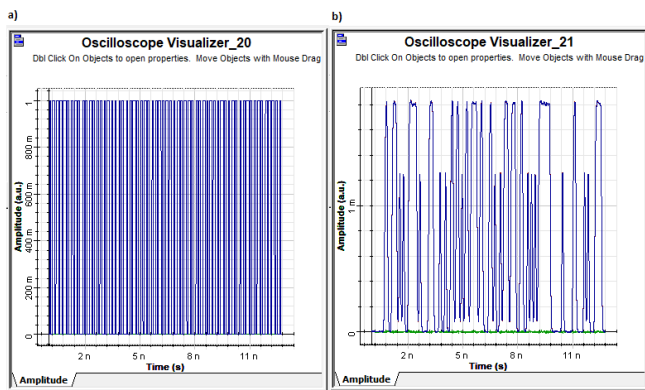


Figura 43. Señal demultiplexada del usuario 1 con la ONT secundaria. a) Señal de video b) Señal de datos.

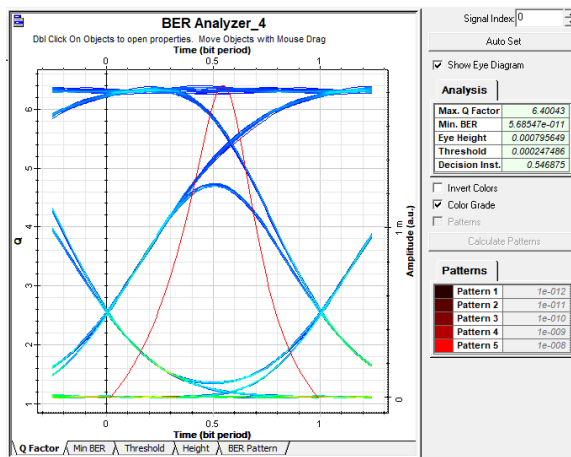


Figura 42. BER para la señal de datos de la ONT secundaria, está en orden de $5.6854e-11$.

Ahora se simulará, que la OLT primaria ha sufrido un accidente. Tenemos los siguientes resultados.

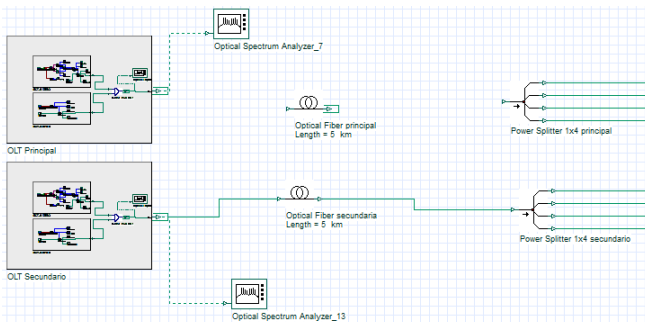


Figura 43. Se ha simulado que la OLT primaria ha tenido un accidente.

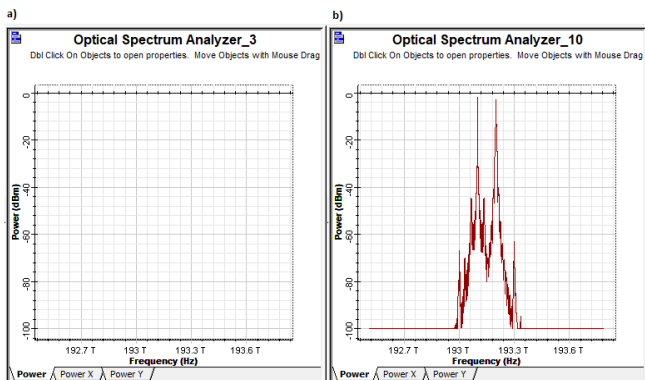


Figura 44. Señal del usuario 1 después del accidente. a) ONT primaria b) ONT secundaria.

Debido al accidente del OLT primario, las ONT primarias no reciben las señales; pero por el backup, el usuario seguirá teniendo conexión gracias a la ONT secundaria. Teniendo los siguientes resultados.

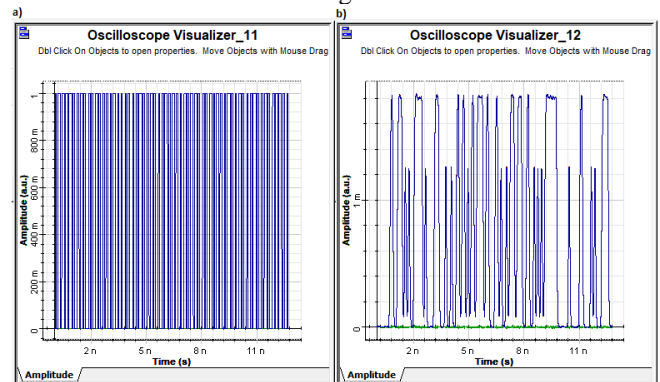


Figura 45. Señal demultiplexada del usuario 1 con la ONT secundaria después del accidente del OLT primaria. a) Señal de video b) Señal de datos.

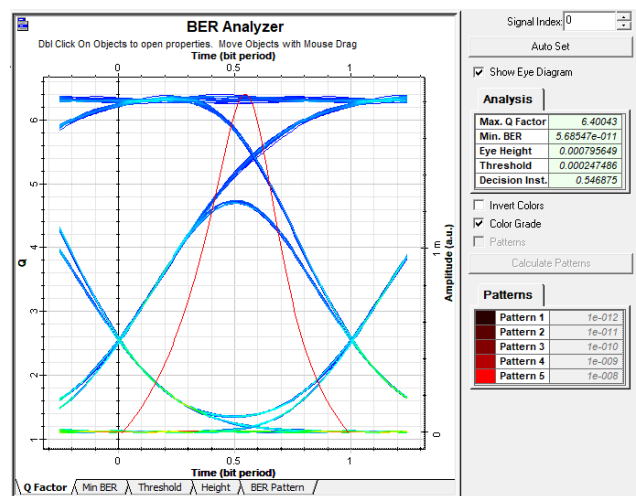


Figura 46. BER para la señal de datos de la ONT secundaria, está en orden de $5.6854e-11$.

4) Tipo D

El esquema que se ha realizado es el siguiente:

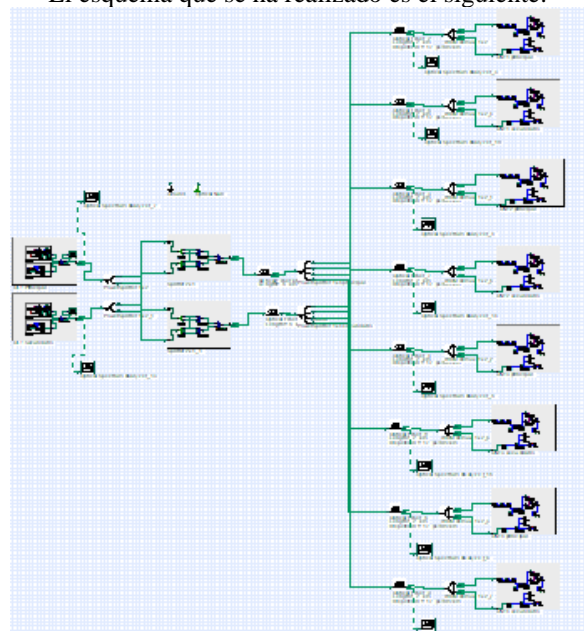


Figura 47. Esquema de protección Tipo D.

Para esta red, se simula que tanto el OLT tiene un OLT secundario, y los usuarios tendrán un ONT primario y en caso de algún problema, el apoyo será la ONT secundaria. A diferencia del tipo C, en este tipo de protección tiene un doble splitter a la salida de las OLT.

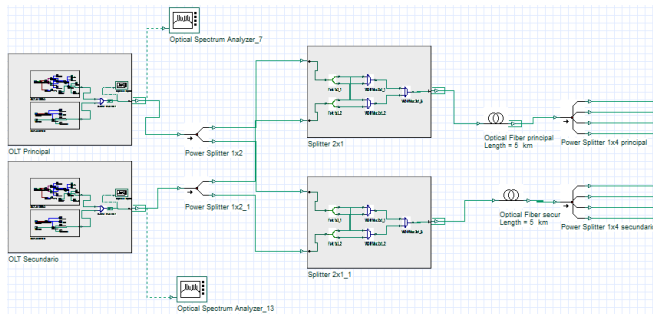


Figura 48. Para este tipo de protección se tiene una OLT principal que será la que opere con normalidad, y otra OLT secundaria que será la de soporte si la OLT dejara de funcionar. Después, las OLT entran a un splitter 1x2, para tener un modo cruzado con otro splitter 2x1, esta es la característica principal de este tipo de protección. Después del doble splitter, cada señal irá por un splitter 1x4 a los usuarios. Cada usuario tendrá su respectivo backup.

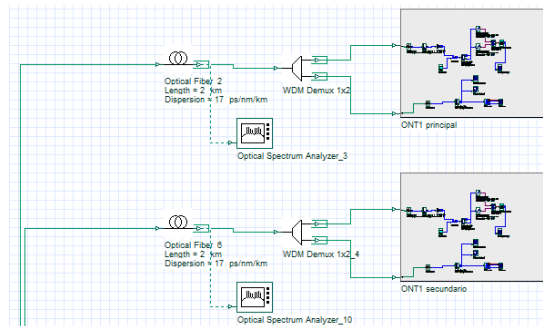


Figura 49. Cada usuario tendrá “redes independientes” una ONT principal y otra ONT secundaria para cada usuario.

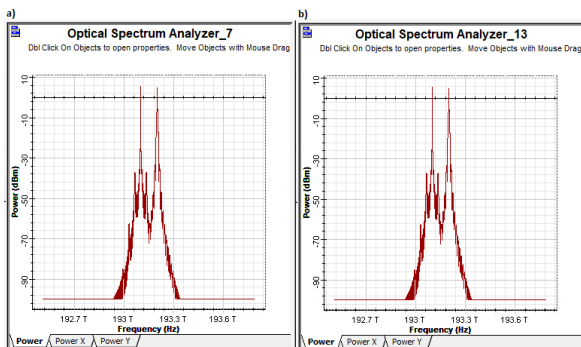


Figura 50. Señal que transmiten las OLT a) Principal b) Secundaria.

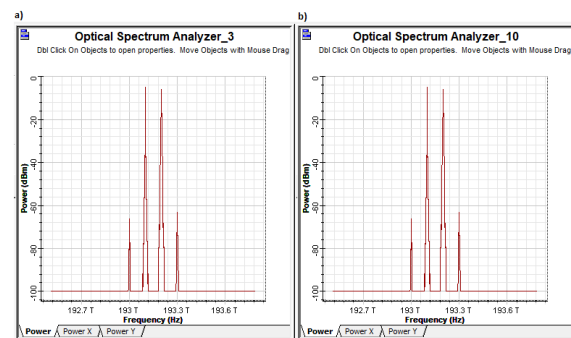


Figura 51. Señal del usuario 1. a) ONT primaria b) ONT secundaria.

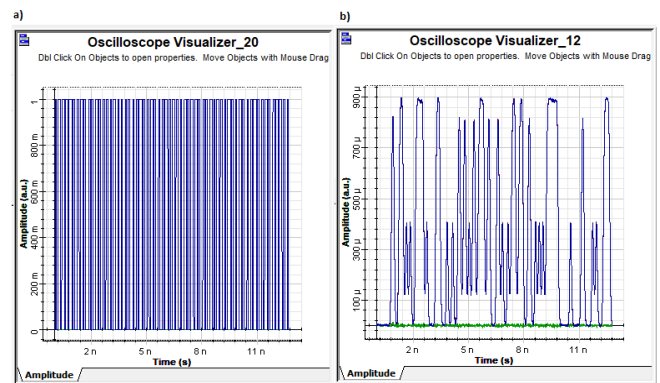


Figura 52. Señal demultiplexada del usuario 1 con la ONT primaria. a) Señal de video b) Señal de datos.

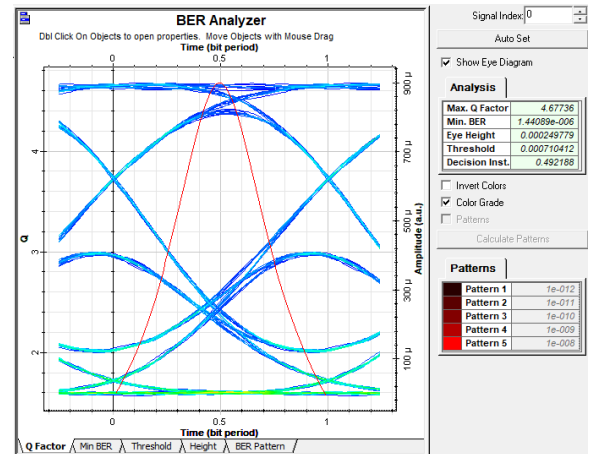


Figura 53. BER para la señal de datos de la ONT principal, está en orden de $1.4408\text{e-}6$.

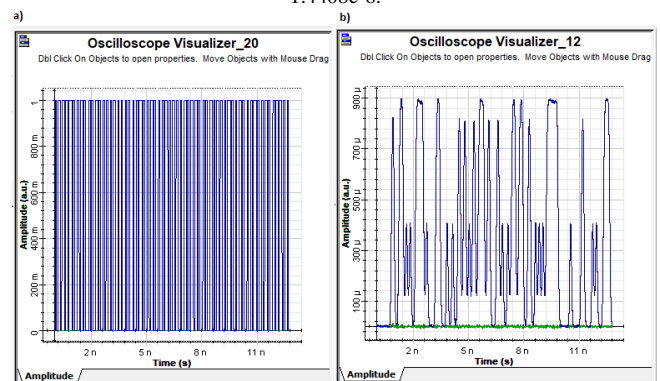


Figura 54. Señal demultiplexada del usuario 1 con la ONT secundaria. a) Señal de video b) Señal de datos.

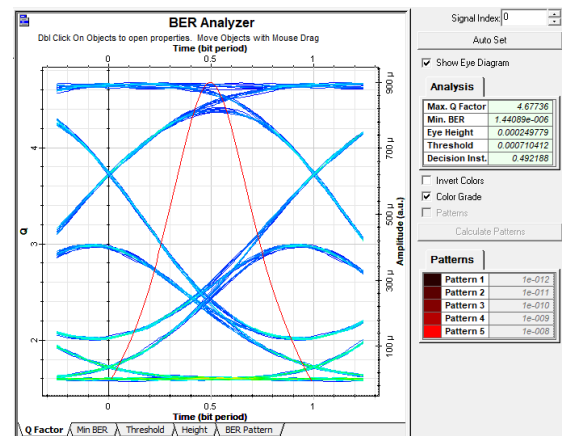


Figura 55. BER para la señal de datos de la ONT secundaria, está en orden de $1.4408\text{e-}6$.

Ahora se simulará, que la OLT primaria ha sufrido un accidente. Tenemos los siguientes resultados.

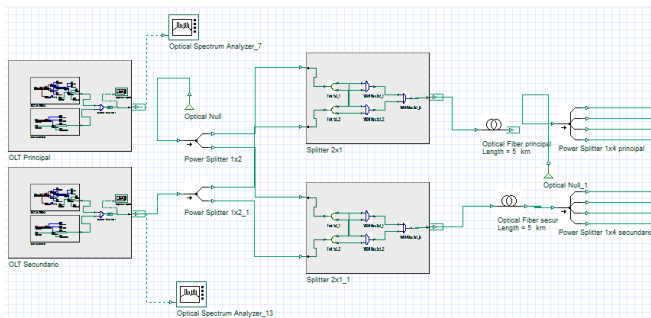


Figura 56. Se ha simulado que la OLT primaria ha tenido un accidente.

Debido al accidente del OLT primario, y a la configuración cruzada, las ONT primarias solo reciben las señales de video y las ONT secundarias las señales de datos, haciendo que el usuario siga conectado. Teniendo los siguientes resultados.

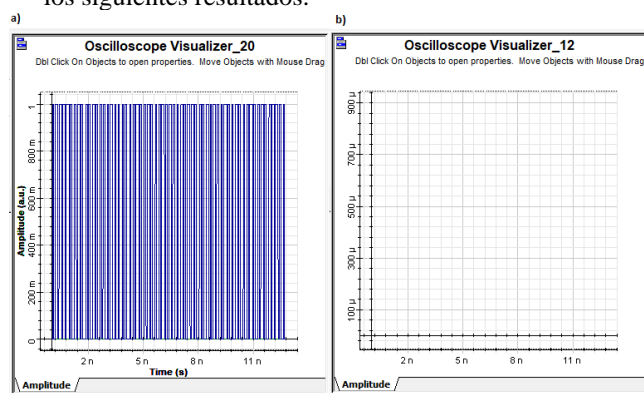


Figura 57. Señal demultiplexada del usuario 1, en el ONT primario, después del accidente del OLT primaria. a) Señal de video llega al usuario 1. b) Señal de datos, no llega al usuario 1.

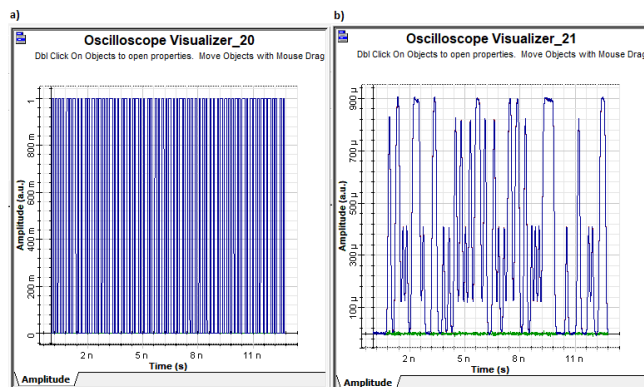


Figura 58. Señal demultiplexada del usuario 1, en el ONT secundario, después del accidente del OLT primaria. a) Señal de video. b) Señal de datos.

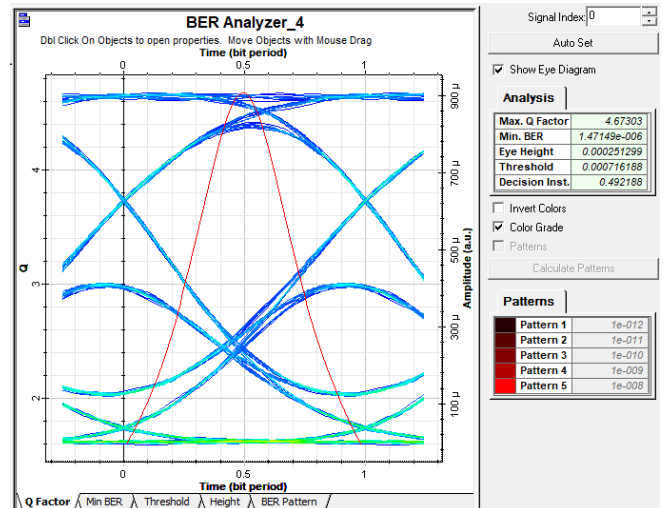


Figura 59. BER para la señal de datos de la ONT secundaria, está en orden de $1.4714\text{e-}6$.

V. GITHUB

Todas las simulaciones hechas en este documento se encuentran en la plataforma GitHub, en el siguiente enlace: <https://github.com/alexrch97/Redes-optimas> en la carpeta Tipos de protección redes PON.

VI. CONCLUSIONES

- La optimización de la energía en una red óptica es un tema de importancia para poder realizar una optimización en el consumo de energía que algunos componentes de la red realizan. Esta optimización tiene que ver con el tema de ocupar otras alternativas para disminuir el valor de energía usada por la red, pero, manteniendo el grado de servicio presentado al usuario.
- Los modelos presentados para realizar un control en el consumo de la energía son de suma importancia dependiendo del tipo de modelo que se use, ya que, al hacer un modelo baso en la ruta se puede tener una idea más concreta de que componentes están teniendo más impacto en la energía usada en la red.
- Las redes PON deben tener protecciones en sus diferentes fases, ya sea en la fibra de alimentación principal, o en sus elementos OLT, ONT, teniendo sus respectivos backups o haciendo un doble splitteo en la red; esto garantizará que el usuario siempre tendrá conexión.

VII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda analizar los modelos de optimización de energía para poder tener un control más completo del desempeño de la red óptica.
- Se recomienda analizar la implementación de arquitectura de red óptica en una red inteligente eléctrica con el fin de realizar una optimización en el consumo de energía final que tenga la red óptica.
- Es recomendable que con los elementos del software de OptiSystem, se haga nuevos elementos que el programa no tiene; además, se debe entender y comprender la mayoría de los elementos de la red, principalmente de *ground* y *optic null*.

REFERENCIAS

- [1]. D. C. Kilper, «Energy Efficiency in Optical Networks», en *Springer Handbook of Optical Networks*, B. Mukherjee, I. Tomkos, M. Tornatore, P. Winzer, y Y. Zhao, Eds. Cham: Springer International Publishing, 2020, pp. 631-664. doi: [10.1007/978-3-030-16250-4_19](https://doi.org/10.1007/978-3-030-16250-4_19).
- [2]. Biswanath Mukherjee, Massimo Tornatore, Ioannis Tomkos, Peter Winzer, y Yongli Zhao, *Springer Handbook of Optical Networks*. Cham, Suiza: Springer, 2020.
- [3]. M. Campaña y E. Inga, «Despliegue óptimo georreferenciado de estaciones de carga vehicular pública considerando capacidad de flujo y distancias máximas habilitantes», *I+D Tecnológico*, vol. 15, n.º 2, Art. n.º 2, jul. 2019, doi: [10.33412/idt.v15.2.2248](https://doi.org/10.33412/idt.v15.2.2248).
- [4]. «Las redes ópticas permiten ahorrar energía y ofrecen mayor ancho de banda - Conectores-Redes-Fibra óptica-FTTH-Ethernet». <https://www.conectronica.com/fibra-optica/redes-opticas/las-redes-opticas-permiten-ahorrar-energia-y-ofrecen-mayor-ancho-de-banda> (accedido sep. 03, 2021).
- [5]. «Ventajas de la fibra óptica y comprobación LAN óptica pasiva», *Fluke Networks*, mar. 29, 2017. <https://es.flukenetworks.com/blog/cabling-chronicles/fiber-not-just-backbone-anymore> (accedido sep. 03, 2021).
- [6]. ITU-T, «ITU-T Series G Supplement 51 (06/2017) Passive optical network protection considerations». jun. 2017.
- [7]. «GPON Fundamentals Technical Team from FTTH Marketing Department». <https://slidetodoc.com/gpon-fundamentals-technical-team-from-ftth-marketing-department/> (accedido sep. 04, 2021).